

주거환기용 시로코팬의 내부모터 형상에 따른 공력특성 연구

차 경 훈,¹ 김 진 혁,² 김 광 옹^{*3}

A STUDY ON AERODYNAMIC CHARACTERISTICS DEPENDING ON SHAPE OF AN INTERNAL MOTOR IN A SIROCCO FAN FOR RESIDENTIAL VENTILATION

K.H. Cha,¹ J.H. Kim² and K.Y. Kim^{*3}

Aerodynamic characteristics depending on the shape of an internal motor in a small-size sirocco fan for residential ventilation have been investigated. For the aerodynamic analyses of the sirocco fan, three-dimensional Reynolds-averaged Navier-Stokes equations are solved with the shear stress transport model for turbulence closure. The flow analyses are performed on hexahedral grids using a finite-volume solver. The validation of the numerical results at steady-state is performed by comparing with experimental data for the pressure and efficiency. In order to investigate the aerodynamic characteristics depending on shape of an internal motor in a sirocco fan, the reference shape is analyzed compared to the case without internal motor. Additionally, two shape parameters, height and width of the internal motor in a sirocco fan, are tested to investigate their effects on the aerodynamic characteristics. The results show that the shape of the internal motor in a sirocco fan is an important factor to improve the aerodynamic performances.

Key Words : 전산유체역학(CFD), 시로코팬(Sirocco Fan), 공력 특성(Aerodynamic Characteristics), 효율(Efficiency), 정상 상태(Steady-State), 내부모터(Internal Motor)

1. 서 론

최근 생활수준의 질적 향상과 환경 및 건강에 대한 관심이 증가함에 따라 보다 쾌적한 환경에서 생활하고자 하는 현대인의 욕망은 점차 증가되고 있다. 그러나 일상 생활에서 많은 비중을 차지하는 주거공간은 불완전 연소 가스, 조리 시 냄새, 연기 및 수증기 등과 같은 많은 공기 오염에 노출되어 있으므로 보다 쾌적한 주거공간을 만들기 위한 환기용 팬의 역할은 매우 중요하다. 이러한 주거환기용 팬 중 시로코팬(sirocco fan)은 다익 원심팬으로서 일반적으로 축류팬이나 다른 원심팬에 비해 효율이 낮지만 많은 풍량을 낼 수 있으며, 비교적 운전소음이 적고 소형이라는 장점을 가지고 있어 널리

사용되고 있다.

최근 컴퓨터 성능의 급속한 발전에 힘입어 전산유체역학(CFD)을 기초로 하는 삼차원 수치해석을 통해 시로코팬 내부 유동구조를 예측하는 연구가 많이 이루어지고 있다[1~3]. Choi 등[4]은 시로코팬의 성능에 미치는 형상인자들의 영향을 파악하고자 비압축성 삼차원 RANS(Reynolds-averaged Navier-Stokes) 해석을 수행하였고, 그 결과 날개 출구각, 스크롤 시작각 및 스크롤 팽창각이 효율에 큰 영향을 미치는 인자임을 알아내었으며, 날개 출구각 70도 부근에서 최대 효율값을 갖는다고 보고하였다. Han 등[5]은 레인지 후드용 시로코팬을 대상으로 스크롤 주위의 유동에 대한 비정상 3차원 RANS 해석을 통해 얻어진 데이터를 바탕으로 흡입성능향상을 위한 방안을 제시한 바 있다. Han 등[6]은 스크롤 내 설부의 각도 및 반경을 변화시켜가며 최적의 형상을 찾아내고자 2차원 유동해석을 바탕으로 신경망 최적화 이론을 도입하여 설부 주위에서의 박리 현상이 최소화 될 수 있는 설부의 위치와 형상을 예측하였다. 한편, Kim 등[7]은 주거환기용 시로코팬의 스크롤 내 삼차원 유동 및 소음 특성을 파악하고자 정상

접수일: 2011년 6월 28일, 수정일: 2011년 11월 9일,

게재확정일: 2011년 11월 10일.

1 정회회원, 인하대학교 대학원 기계공학과

2 인하대학교 대학원 기계공학과

3 정회원, 인하대학교 기계공학부

* Corresponding author, E-mail: kykim@inha.ac.kr

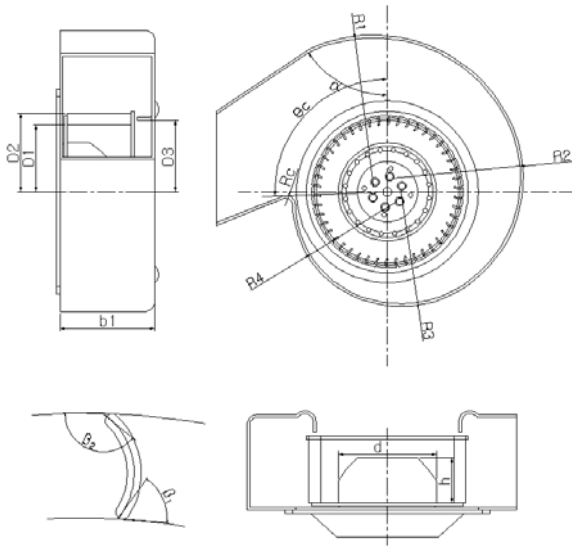


Fig. 1 Schematic diagram of the sirocco fan

및 비정상 삼차원 RANS 해석을 수행하였으며, 스크롤 내 속도 분포를 통해 하류로 갈수록 2개의 순환유동이 형성되는 것을 관찰하였다. 아울러, 소음수준과 스펙트럼 분석을 통하여 최대소음은 설부와 임펠러 간의 강한 상호작용에 의해 발생하는 것을 확인하였다.

일부 주거환경용으로 사용되는 소형 시로코팬의 경우에는 미관과 더불어 크기의 제한으로 인해 팬의 구동 모터가 임펠러 입구 측 내부에 설치되는 경우가 있다. 이처럼 모터를 임펠러 내부에 설치할 경우 모터는 입구로 유입되는 유동구조에 큰 영향을 미치게 되며, 이로 인해 시로코팬의 전체적인 성능에도 큰 영향을 미치게 된다. 이와 관련하여 Park 등[8]은 레인지 후드용으로 사용되는 시로코팬의 입구영역에 모터와 유사한 형상의 원통형 장애물을 설치하고 입구 봉쇄(blokage)에 따른 성능 특성을 파악하기 위해 원통형 장애물의 높이 변경에 따라 시로코팬의 성능에 미치는 영향을 실험 및 수치해석을 통해 파악하였다. 이처럼 시로코팬의 임펠러 내부에 설치되는 모터 형상을 고려한 연구는 대부분 모터의 높이 변경에 따른 성능 특성을 파악한 연구만이 수행되고 있을 뿐 모터 직경에 따라 모터와 임펠러의 간극을 고려한 성능 특성을 고려한 연구는 수행되지 않고 있다.

본 연구에서는 주거환경용으로 사용되는 소형 시로코팬의 임펠러 내부에 설치된 모터 형상에 따른 공력 특성을 파악하고자 삼차원 RANS 해석을 수행하였다. 이와 관련하여 임펠러 내부에 설치된 모터는 실제 형상을 고려하여 모터 유무 및 직경과 높이 변경에 따른 해석을 수행하였으며, 이를 바탕으로 추후 소형 시로코팬의 설계 시 입구영역 내 설치되는

모터의 형상에 관한 기초자료를 마련하고자 하였다.

2. 시로코팬 사양

본 연구에서는 주거환경용으로 사용되는 소형 시로코팬을 대상으로 삼차원 RANS 해석을 수행하였다. Fig. 1에 대상이 된 시로코팬의 임펠러 및 스크롤 등 주된 부품을 도식화하였다. Kim 등[7]이 수행한 실험에 따르면 본 시로코팬의 설계점에서의 유량과 출구압력은 각각 216.3CMH 및 21.6mmAq이다. 모터의 경우에는 Fig. 1에서 보는 바와 같이 직경(d)과 높이(h)가 각각 93.6mm와 39.5mm이다. 본 연구대상인 시로코팬의 주요제원은 Table 1에 기술하였다.

3. 수치해석방법

본 연구에서는 ANSYS사의 상용 소프트웨어인 ANSYS CFX-11.0[9]을 사용하여 해석을 수행하였다. 시로코팬의 임펠러와 스크롤 등 형상은 각각 Blade-Gen과 Design-Modeler를 사용하여 구성하였고, 격자생성을 위해 임펠러와 그 외 영역에서 각각 Turbo-Grid 및 CFX-ICEM을 사용하였다. 또한 경계 조건의 정의, 유동 해석 및 결과 정리는 각각 CFX-Pre, CFX-Solver 및 CFX-Post를 사용하여 수행하였다.

본 시로코팬의 내부 유동장은 비압축성 삼차원 정상상태로 가정하여 RANS 방정식을 이용한 유동해석을 수행하였고, 수치해석 시 지배방정식은 유한체적법으로 이산화되었다. 이산화 도식으로는 2차 이상의 정확도를 갖는 고해상도 도식(high resolution scheme)을 사용하였으며, 난류유동의 해석을 위한 난류모델로는 SST(shear stress transport)모델을 사용하였다. 일반적으로 SST모델은 역압력구배로 인한 유동박리현상을 예측

Table 1 Design specifications of the sirocco fan

Impeller		Blade	
D1/D2	0.852	$\beta_1, \beta_2, \text{deg.}$	58, 141
b1, mm	82	Thickness, mm	1.4
Number of blades	45	Shape	Cir. arc
Scroll			
$\Theta_c, \text{deg.}$	92	R1, mm	133
Rc, mm	10	R2, mm	115
Outlet area, m ²	0.007	R3, mm	101
$\alpha, \text{deg.}$	56	R4, mm	91
Design point (Reference)			
Flow rate, CMH	216.3		
Pressure, mmAq	21.6		
Power, W	24.6		
Rotational speed, rpm	2,048		

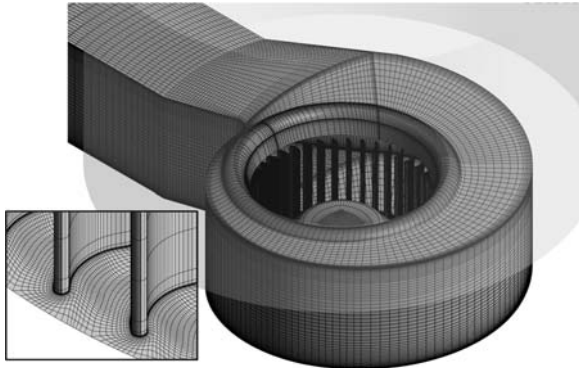


Fig. 2 Computational grids

하는데 있어 다른 2-방정식 난류모델들에 비해 성능이 우수하다고 보고된 바 있다[10].

시로코팬을 통과하는 작동유체는 표준상태의 25℃ 공기로 하였고, 입구의 경계조건은 균일한 상태의 전압력과 함께 난류강도 5%를 부여하였으며, 출구조건으로는 질량유량을 주었다.

삼차원 수치해석을 위해 해석대상인 시로코팬 내부 영역은 스크롤, 임펠러 및 흡입부 영역으로 나누어 해석을 수행하였다. 임펠러 및 내부 모터는 회전속도를 부여하여 해석을 수행하였다. 대부분의 축방향으로 회전하는 유체기계는 해석 시 계산시간의 단축과 수렴성 향상을 위해 인접하는 두 블레이드 사이의 유동장이 회전방향에 대해 주기적으로 형성되어 있다고 가정하여 하나의 유로에 대해서 주기조건을 적용하여 해석을 수행하나, 본 시로코팬은 임펠러와 확장되어지는 스크롤 사이에서 발생하는 내부 유동의 상호작용에 의해 유동장이 축대칭이고 주기적이라고 가정될 수 없기 때문에 임펠러 내 블레이드 45개를 포함한 전 영역에 대하여 해석을 수행하였다. 정상상태의 수치해석 시 회전하는 임펠러와 정지상태의 스크롤 및 흡입부 사이의 인접하는 경계면 처리는 격자면에서 계산값을 그대로 정지좌표계에 입력값으로 사용하는 방식인 Frozen-Rotor 방식을 사용하였다[9].

Fig. 2는 시로코팬의 전 영역에 관한 격자계 구성을 보여주고 있다. 회전하는 임펠러 블레이드 표면 인근에는 Fig. 2에서 보는 바와 같이 벽 근처 영역에서 저레이놀즈 SST모델을 적용하기 위해 O형 격자계를 구성하여 첫 번째 격자점의 y+ 최대값을 1미만으로 유지되도록 하였고, 그 외의 스크롤 및 흡입부를 포함한 전 영역에는 육면체 격자계를 사용하였다.

본 시로코팬의 전 영역에 관하여 한번 해석 시 소요되는 시간은 약 500번의 반복계산을 통하여 Intel Core I7 CPU 2.67 GHz를 사용하여 약 8시간 정도 소요되었다.

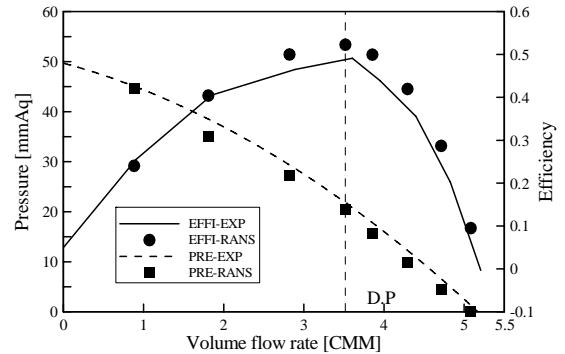


Fig. 3 Validation of the flow analysis[7]

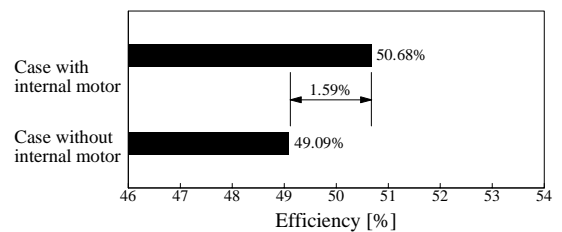


Fig. 4 Comparison of the efficiencies for the cases with and without internal motor in the sirocco fan

4. 결과 및 고찰

4.1 수치해석결과의 검증

앞에서 기술된 본 연구대상인 시로코팬의 수치해석을 수행하기 전 단계로서 격자의존성을 제거하기 위한 격자의존성시험 및 성능시험결과와의 비교를 통한 수치해석결과의 검증은 Kim 등[7]으로부터 수행된 선행연구에 의해 타당성이 입증된 바 있다. Fig. 3은 선행연구로부터 수행된 성능시험결과와 RANS 해석결과를 비교하고 있다. Fig. 3의 성능곡선 상에서 볼 수 있는 바와 같이 전 유량에 걸쳐 압력 및 효율의 RANS 해석결과는 시험결과와 비교하여 볼 때 전반적으로 경향이 잘 일치함을 보여주고 있다. 특히, 시험결과에서의 최대효율 지점과 RANS 해석결과에서의 최대효율지점이 비교적 정확하기 때문에 본 연구의 수치계산은 타당성이 있다고 볼 수 있다.

4.2 유동영역 내 모터 유무에 따른 성능 특성 비교

본 연구에서는 주거환기용으로 사용되는 소형 시로코팬의 임펠러 내부 모터의 설치 유무에 따른 성능 특성을 알아보고자 모터가 설치되어 있는 기준형상과 모터가 미설치된 형상

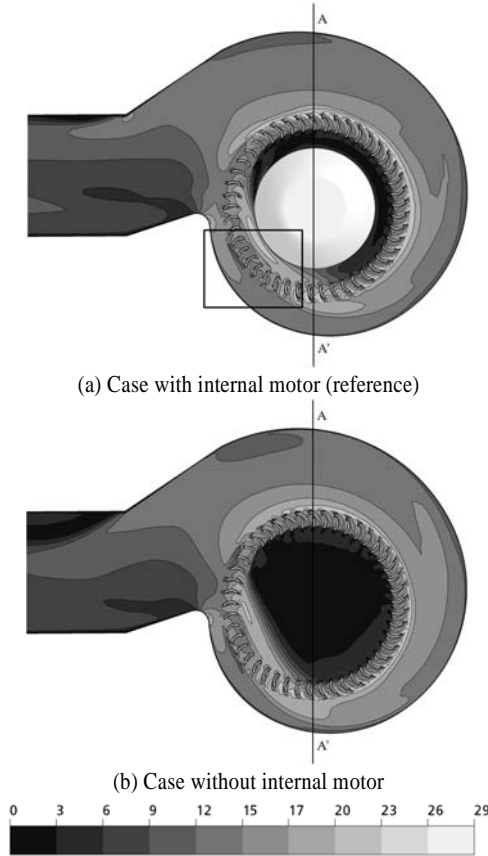


Fig. 5 Velocity distributions at 10% span from the scroll height(unit: m/s)

에 관하여 내부 유동 영역을 비교하였다.

Fig. 4는 시로코팬 임펠러 내부 모터의 설치 유무로부터 설계점에서의 수치해석결과에 따른 전체 효율을 비교하고 있다. Fig. 4의 효율 분포를 살펴보면 임펠러 내 모터가 설치된 형상에서는 50.68%의 효율을 예측하는데 반해 모터가 미설치된 형상에서는 49.09%의 효율로서 기존의 설치된 모터의 형상보다 효율이 약 1.6% 감소된 것을 볼 수 있다. 이는 모터를 내부에 설치할 경우 모터는 입구로 유입되는 유동에 영향을 미치게 되며, 이와 더불어 시로코팬의 전체적인 성능 향상에도 영향을 준다는 것을 의미한다.

Fig. 5는 시로코팬 내 스크롤 높이로부터 10% 스펠에 대한 속도 분포를 보여주고 있다. 모터가 미설치된 형상에서의 속도 분포를 살펴보면 임펠러 내 흡입 영역에 속도가 낮은 정체 영역이 관찰되는 것을 볼 수 있다. 이는 시로코팬의 흡입 부로부터 유동이 유입 시 임펠러의 허브 인근까지 유동의 흡입이 원활하지 못하다는 것을 의미한다. 즉, 흡입부로부터 유입되는 유동이 회전하는 임펠러로 인하여 스크롤의 아랫면까

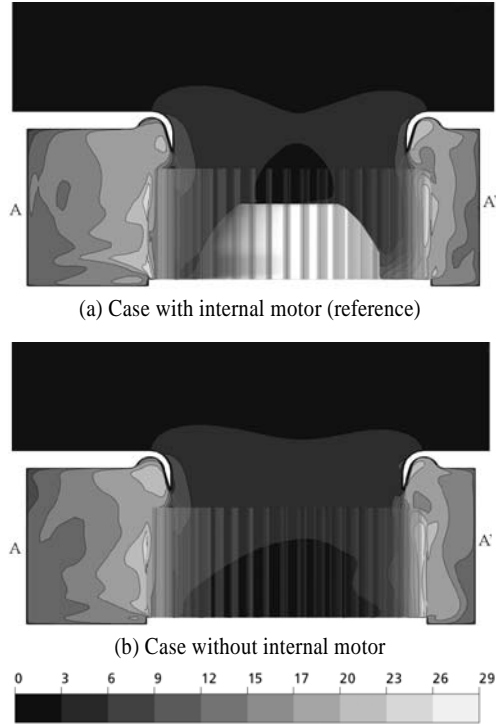


Fig. 6 Velocity distributions at section A-A' indicated in Fig. 5(unit: m/s)

지 원활히 유입되지 못하고, 결국 속도가 낮은 정체 영역의 발생으로 인해 전체 효율이 감소되는 것으로 볼 수 있다. 또한 이와 같은 영향으로 인하여 출구 부분에서의 속도 분포도 모터가 설치된 형상에 비해 균일하지 못한 것으로 사료된다.

Fig. 6은 Fig. 5에서 표시된 단면 A-A'에서의 속도 분포를 보여주고 있다. 모터가 미설치된 형상에서는 흡입 영역 내 임펠러 높이의 약 2/3에 해당하는 속도가 낮은 정체 영역이 존재하는 것을 볼 수 있다. 그로 인해 임펠러의 허브 인근 즉, 스크롤의 아랫면 부근에서 속도 분포가 원활하지 못한 것을 볼 수 있다. 그러나 모터가 설치된 형상에서는 모터로 인해 속도가 낮은 정체 영역이 모터가 미설치된 형상에 비해 감소하였다. 결국 모터는 입구로 유입되는 유동에 대하여 유동이 원활히 흐를 수 있도록 도움을 주고, 또한 미관과 더불어 전체 크기 감소 및 전체적인 성능 향상에도 도움을 줄 수 있다고 볼 수 있다.

4.3 유동영역 내 모터 형상에 따른 성능 특성 비교

앞서 설명한 현 설계점에서 시로코팬의 임펠러 내 모터가 설치된 기준형상의 수치해석결과를 토대로 모터의 직경 및 높이의 변화에 따른 효율의 변화를 살펴보았다.

Fig. 7은 기준형상의 임펠러 내 모터의 직경 및 높이 변화

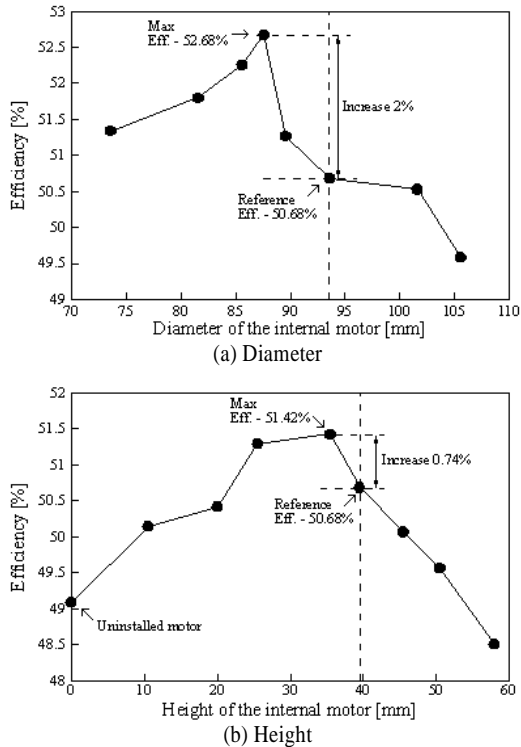


Fig. 7 Parametric study with diameter and height for the internal motor in the sirocco fan

에 따른 효율 분포를 보여주고 있다. 여기서 기준형상 내 모터의 직경과 높이는 각각 93.6mm 및 39.5mm이다. 모터의 직경 변화에 따른 효율 변화를 살펴보면 Fig. 7(a)에서 보는 바와 같이 현 범위 내 기준 모터의 직경보다 직경이 증가할수록 효율은 감소하는 경향을 나타내고, 모터의 직경이 감소할수록 기준 형상보다 효율이 다소 증가하는 것을 알 수 있다. 또한 모터 직경 87.6mm 지점에서 최대효율지점이 존재하며, 기준 형상 대비 약 2%의 효율이 상승한 것을 알 수 있다. 이는 일반적으로 장시간 가동되는 주거환기용 소형 시로코팬의 최고효율이 50%대임을 감안하면 2%대의 효율 향상은 상당히 의미있는 결과임을 알 수 있다. Fig. 7(b) 임펠러 내 모터의 높이 변화에 따른 효율 변화를 살펴보면 기준 모터의 높이보다 높아질수록 효율은 다소 감소하는 경향을 나타내는 것을 볼 수 있다. 이는 모터로 인한 유입 유동의 입구부쇄현상에 기인되는 결과로서 결국 시로코팬의 전체 효율 감소의 원인이 되며, 이러한 결과는 Park 등[8]의 연구결과와 유사하다. 또한 모터의 높이가 기준 형상 대비 약 20mm 낮은 범위 내에는 효율이 다소 증가하는 경향을 나타내고 있으며, 35.5mm 지점에서는 기준 형상보다 약 0.7% 상승한 최대효율지점이 존재하는 것을 알 수 있다. 그 외 20mm보다 더욱 낮아질수록

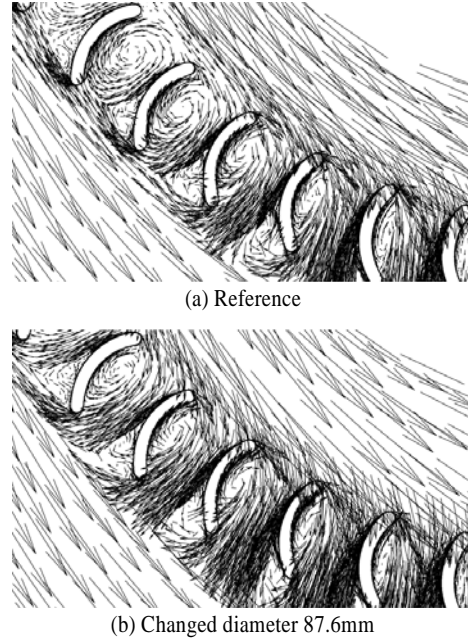


Fig. 8 Velocity vectors at a rectangle indicated in Fig. 5

효율은 감소하는 경향을 보이게 되고, 모터가 미설치된 경우 즉, 높이가 0일 때까지 감소하는 경향을 보임을 알 수 있다.

Fig. 8은 모터의 기준형상 및 효율이 2% 상승된 모터의 직경 87.6mm 형상에 관하여 Fig. 5(a) 내 사각형으로 표시된 영역에서의 속도 벡터 분포를 보여주고 있다. 여기서 속도 벡터 분포는 스크롤 높이로부터 10% 스펙에 대한 영역이다. Fig. 8에서 볼 수 있듯이 효율이 가장 상승된 모터의 직경 87.6mm 형상에서는 블레이드 내 박리가 현저히 줄어든 것을 볼 수 있다.

Fig. 9는 모터의 기준형상 및 효율이 2% 상승된 모터의 직경 87.6mm 형상에 대해 임펠러 내부에서 등속도면 분포를 보여주고 있다. 여기서 등속도면의 유속은 1.5m/s로 저속영역을 나타내므로 이를 통해 유동 박리 영역을 알 수 있다. 효율이 가장 상승된 모터의 직경 87.6mm 형상에서는 전반적으로 기준형상에 비해 박리 영역이 감소된 것을 볼 수 있으며, 특히 설부 인근 블레이드 내 박리 영역이 현저히 줄어든 것을 확인할 수 있다. 이는 모터 직경의 변화로 인하여 모터와 임펠러 사이에 확보되는 유로가 최적으로 구성되어짐에 따라 임펠러 내 유동이 원활히 유입되어서 발생하는 결과로 여겨지며 그로 인해 결과적으로 효율 상승에 기여한 것으로 볼 수 있다.

따라서 이와 같은 연구 결과들을 통하여 시로코팬의 임펠러 내 설치되는 모터 형상의 변화만으로도 시로코팬의 전체 성능을 향상시킬 수 있음을 알 수 있다. 또한 향후 RANS 해



(a) Reference



(b) Changed diameter 87.6mm

Fig. 9 Isosurface having low velocity of 1.5m/s

석과 대리모델을 결합한 수치최적설계를 수행할 시 모터 형상의 변화만으로도 기존 시로코팬의 성능 향상을 도모할 수 있을 것으로 사료된다.

5. 결 론

본 연구에서는 주거환기용으로 사용되는 소형 시로코팬의 임펠러 내부에 설치된 모터 형상에 따른 공력 특성을 파악하고자 삼차원 RANS 해석을 수행하였고, 모터 유무 및 모터 형상에 따른 영향을 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 스크롤의 아랫면 부근에서 유동 특성을 살펴보았을 때 모터가 설치된 형상에서는 모터가 미설치된 형상에 비해 속도가 낮은 정체 영역이 감소하였음을 보여주었다. 결국 모터는 입구로 유입되는 유동에 대하여 유동이 원활히 흐를 수 있도록 도움을 주고, 전체 크기 감소 및 약 1.6% 효율 향상에 기여한다.

2. 효율이 가장 상승된 모터의 직경을 변화한 형상에서는 블레이드 내 박리가 현저히 줄어든 것을 볼 수 있었다. 이는 모터 직경의 변화로 인하여 모터와 임펠러 사이에 확보되는 유로가 최적되어짐에 따라 임펠러 내 유동이 원활히 유입되어서 발생하는 결과로 여겨지며 그로 인해 결과적으로 기준형상 대비 약 2% 효율 상승에 기여한다.

3. 시로코팬의 입구 영역 내 설치되는 모터는 시로코팬의

전체 성능을 향상시킬 수 있는 중요한 인자임을 알 수 있고, 본 연구의 결과는 향후 소형 시로코팬의 설계 시 입구 영역 내 설치되는 모터의 형상을 제공할 수 있는 기초자료로 활용이 가능하리라 판단된다.

후 기

본 연구는 지식경제부 청정제조기반기술개발사업의 연구비 지원에 의해 수행되었음을 밝힘(No. 10031771).

참고문헌

- [1] 2004, Kim, K.Y. and Seo, S.J., "Shape Optimization of Forward-Curved-Blade Centrifugal Fan with Navier-Stokes Analysis," *Journal of Fluids Engineering*, Vol.126, No.5, pp.735-742.
- [2] 2002, Lin, S.C. and Huang, C.L., "An integrated experimental and numerical study of forward-curved centrifugal fan," *Experimental Thermal and Fluid Science*, Vol.26, No.5, pp.421-434.
- [3] 2005, Sasaki, S., Kodama, Y., Hayashi, H. and Hatakeyama, M., "Influence of the Karman Vortex Street on the Broadband Noise Generated from a Multiblade Fan," *Journal of Thermal Science*, Vol.14, No.3, pp.198-205.
- [4] 2006, 최영석, 정옥희, 이경용, "실험계획법을 이용한 시로코팬의 성능향상," *유체기계 연구개발 발표회 논문집*, pp.283-286.
- [5] 2008, 한병윤, 박진우, 이명수, 박형구, "렌지후드의 성능 개선을 위한 시로코 팬 주위의 유동해석," *한국전산유체 공학회 추계학술대회논문집*, pp.159-165.
- [6] 2001, 한석영, 맹주성, 유달현, "신경망 기법을 이용한 다익 팬/스크롤 시스템의 컷오프 최적화," *대한기계학회 춘추학술대회*, 제2권, 제2호, pp.365-370.
- [7] 2010, 김진혁, 송우석, 이승배, 김광용, "주거환기용 시로코팬의 공력 및 소음 특성 연구," *유체기계저널*, 제13권, 제2호, pp.19-24.
- [8] 2005, 박상태, 최영석, 박문수, 김철호, 권오명, "레인지 후드용 시로코 팬 성능 특성에 관한 연구," *유체기계저널*, 제8권, 제2호, pp.9-15.
- [9] ANSYS CFX-11.0 Solver Theory, 2006, Ansys Inc.
- [10] 1997, Bardina, J.E., Huang, P.G., and Coakley, T., "Turbulence Modeling Validation," *28th AIAA Fluid Dynamics Conference*, AIAA-1997-2121.